

상압소결한 Al_2O_3-SiC 계 소결체의 기계적 성질(2) :
SiC Whisker 의 분산효과

김경수 · 이홍림

연세대학교 공과대학 요업공학과

(1988년 10월 6일 접수)

Mechanical Properties of the Pressureless Sintered Al_2O_3-SiC Composites(2) :
Dispersion Effects of SiC Whisker

Kyung-Soo Kim and Hong-Lim Lee

Dept. of Ceramic Engineering, Yonsei University

(Received October 6, 1988)

요 약

2차상으로 첨가한 SiC whisker의 영향을 알아보기 위하여 Al_2O_3 matrix에 SiC whisker를 5-20 vol% 분산시키고 TiO_2 와 Y_2O_3 를 소결조제로 2.5 wt% 첨가하여 1800-1900°C, N_2 분위기 증에서 90분간 상압소결하였다. 소결체의 밀도는 SiC whisker의 함량이 증가함에 따라 감소하였지만 Al_2O_3 의 입자성장은 억제되었다. SiC whisker 함량에 따른 소결체의 기계적 물성 변화를 관찰해 본 결과 Y_2O_3 를 소결조제로 첨가하여 1800°C에서 상압소결한 경우 적임강도와 경도의 최고값은 5 vol%의 SiC whisker 함량에서 각각 537 MPa와 12.1 GPa로 나타났으며 파괴인성의 최고값은 15 vol%의 SiC Whisker 함량에서 $3.7 MPa \cdot m^{1/2}$ 이었다. 또한 1900°C에서 Y_2O_3 를 소결조제로 첨가하여 소결한 시편의 경우 적임강도와 경도 및 파괴인성의 최고값은 10 vol%의 SiC whisker 함량에서 각각 453 MPa, 17.5 GPa, $4.9 MPa \cdot m^{1/2}$ 인 것으로 나타났다. 이와 같은 기계적 물성의 증진은 주로 SiC whisker의 복합화에 따른 균열의 원향과 whisker의 인출현상에 의한 것으로 생각된다.

ABSTRACT

In order to investigate the effect of the second phase on Al_2O_3 matrix, SiC whisker was dispersed in Al_2O_3 matrix as a second phase over the content range of 5 vol% to 20 vol%. To this mixture, Y_2O_3 or TiO_2 powder was added as a sintering additive before isostatically pressing and pressureless sintering at 1800-1900°C for 90 min in N_2 atmosphere. With increasing SiC whisker content, relative densities of composites were decreased and the grain growth of Al_2O_3 was restricted. When Y_2O_3 was added as a sintering aid and the sintering temperature was 1800°C, the maximum values of flexural strength, hardness and fracture toughness were 537 MPa, 12.1 GPa, $3.7 MPa \cdot m^{1/2}$, respectively. However, when the sintering temperature was elevated to 1900°C, maximum values

of flexural strength, hardness and fracture toughness were 453 MPa, 17.5 GPa, 4.9 MPa · m^{1/2}, respectively. Improved mechanical properties are assumed to be attributed to the crack deflection by the second phase SiC whisker and whisker pullout mechanism.

1. 서 론

알루미늄은 알루미늄과 산소와의 강한 결합을 바탕으로 산화물 중에서는 경도가 가장 높으며 내식, 내산화성의 본질이 우수한 것으로 알려져 있다.¹⁾ 그렇지만 알루미늄은 일반적으로 상온장도는 매우 높은 편이지만 1000°C 이상에서의 강도저하가 현저하며 다른 재료에 비해 우수한 성질을 가지고 있음에도 불구하고 취성파괴 현상으로 인하여 등전구조 재료로서의 사용이 제한되어 왔다.²⁾ 따라서 이러한 단점을 보완하기 위하여 Al_2O_3 matrix에 2 차상을 균일하게 분산시켜 균열선단과 2 차상과의 상호작용을 유도함으로써 균열전파에너지를 흡수하여 균열의 진행을 억제시키려는 연구가 진행되고 있다.^{3,4,5)} 이러한 연구의 일환으로 고온에서의 안정성이 뛰어나고 높은 강도와 탄성계수를 갖고 일반적인 세라믹스의 성형기술로도 제작이 가능한 SiC whisker를 Al_2O_3 matrix에 첨가하여 가압소결함으로써 좋은 열적, 기계적 성질을 갖는 Al_2O_3 -SiC whisker 복합체를 제조할 수 있다고 보고되고 있다.^{6,7,8)} 그러나 이 경우 제조되는 복합체의 형태가 제한될 수 밖에 없고 가압소결 측에 따른 물성의 이방성을 나타내므로⁹⁾ 이런 문제점을 해결하기 위해서는 상압소결에 의해 제조함으로써 Al_2O_3 -SiC 복합체가 좋은 물성을 갖도록 하는 것이 바람직하다.

따라서 본 연구에서는 상압소결에 의해 Al_2O_3 -SiC whisker 복합체를 제조하고 이 복합체에 대한 미세구조 및 기계적 성질을 고찰함으로써 2 차상인 SiC가 지지인 Al_2O_3 의 물성에 미치는 영향을 연구하고 이 복합체의 복합화 기구를 밝히고자 하였다.

2. 실험 및 측정방법

2. 1 출발물질

Al_2O_3 -SiC whisker 복합체를 제조하기 위하여 본 실험에서 출발물질로 사용한 Al_2O_3 분말은 불순물 함량이 비교적 적으며 평균입경이 약 0.47 μ m 정도인 것을 사용하였으며 2 차상으로 사용한 SiC whisker (Tokai Carbon Co. Ltd., 일본)는 평균지름이 0.3-1.0 μ m, 길이는 20-50

μ m이며 장축과 단축의 비 (aspect ratio)가 50-200 정도인 β 상을 사용하였다. 소결 조제로는 순도가 99.9%인 Y_2O_3 (Sigma Chem. Co. Ltd., 미국)와 TiO_2 (Junsei Chem. Co. Ltd., 일본)를 사용하였다.

2. 2 시편의 제조

Al_2O_3 기지내에 2 차상인 SiC whisker를 균일하게 분산시키는 문제는 최종적인 소결체의 물성에 미치는 영향이 크므로 매우 중요하다.¹⁰⁾ 특히 SiC whisker는 SiC 분말에 비해 장축과 단축의 비가 커서 균일하게 분산시키는데 많은 어려움이 따른다.

본 실험에서는 Al_2O_3 기지에 2 차상인 SiC whisker를 각각 5, 10, 15, 20 vol%씩 혼합하고 소결조제로서 Y_2O_3 또는 TiO_2 를 2.5 wt% 첨가한 후 고순도의 Al_2O_3 분을 사용하여 에탄올 용매 속에서 24 시간 동안 습식으로 불 밀당하면서 혼합하였다. 이렇게 하여 얻은 시료를 지름 40 mm의 원형 몰드에 넣고 24.5 MPa의 압력으로 가압성형한 후 다시 138 MPa의 압력으로 냉간 정수압 성형을 하였다. 이 성형시편을 BN으로 피복한 후 연도가니 속에 넣고 후 연발열체로 된 전기로 속에서 질소분위기 중에서 1800°C의 1900°C에서 90 분간 가열함으로써 소결하였다.

2. 3 측정 및 분석

소결시편의 상분석을 하기 위하여 X선 회절분석장치 (처리시간 Ni-filtered $CuK\alpha$ radiation, 30 KV, 15 mA)를 사용하였으며 상대밀도는 이론밀도에 대한 결보기 밀도의 백분율로 하였으며 그 측정은 KSL 3114에 따랐다. 소결체의 기계적 물성을 측정하기 위하여 MX-833 (Maruto, Ind.)으로 연마한 후 연마방향으로 절단하여 각 모서리를 45 각도로 다시 가공하였다. 가공한 시편은 Instron (Model 4204, Instron Japan Ind.)을 사용하여 cross head speed 0.5 mm/min, span 거리 25 mm의 조건하에서 파괴하중을 구한 뒤 3점 적임강도를 계산하였다.¹¹⁾ 경도와 파괴인성 측정은 시편을 충분히 연마한 후 Vickers 경도시험기로 20 kg의 하중으로 압입 (indentation)하여 A.G. Evans와 E.A. Charies의 식에¹²⁾에 대입하여 구하였다. 소결체의 미세구조를 관찰하기 위하여 적임 강도시험에서 얻은 시편의 파단면을 굽는 인산에 넣어 40-60 초 동안 etching시킨 후 주사전자현미경으로 관찰하였다.

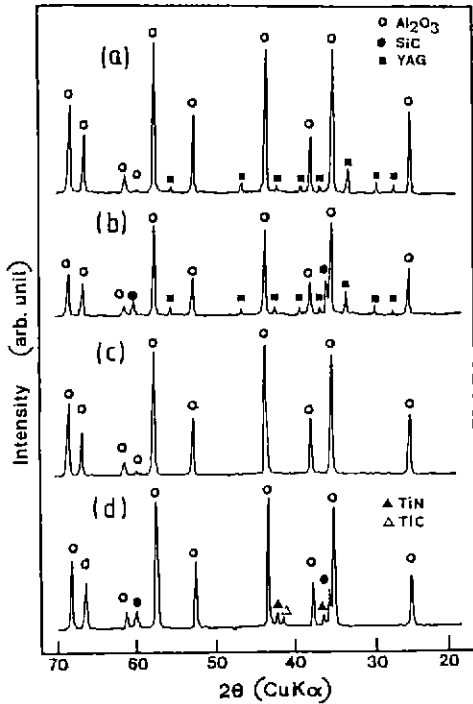


Fig.1. X-ray diffraction patterns of Al_2O_3 -SiC composites pressureless sintered at $1800^\circ C$ for 90 min in N_2 atmosphere.

- (a) $Al_2O_3 + Y_2O_3$
- (b) $Al_2O_3 + 15 \text{ vol\% SiC whisker} + Y_2O_3$
- (c) $Al_2O_3 + TiO_2$
- (d) $Al_2O_3 + 15 \text{ vol\% SiC whisker} + TiO_2$

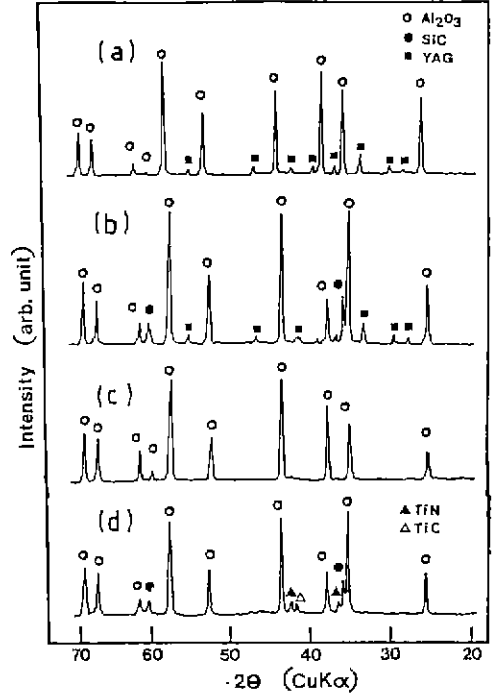


Fig.2. X-ray diffraction patterns of Al_2O_3 -SiC composites pressureless sintered at $1900^\circ C$ for 90 min in N_2 atmosphere.

- (a) $Al_2O_3 + Y_2O_3$
- (b) $Al_2O_3 + 15 \text{ vol\% SiC whisker} + Y_2O_3$
- (c) $Al_2O_3 + TiO_2$
- (d) $Al_2O_3 + 15 \text{ vol\% SiC whisker} + TiO_2$

3. 결과 및 고찰

3. 1 소결체의 상분석 결과

Al_2O_3 -SiC whisker 복합체에 소결조제로 Y_2O_3 및 TiO_2 를 별도로 첨가하여 $1800-1900^\circ C$ 에서 상압소결한 소결시편의 X선 회절분석결과를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1과 Fig. 2의 분석결과에 의하면 소결온도와 관계없이 Al_2O_3 단미 또는 Al_2O_3 -SiC whisker 복합체에 소결조제로 Y_2O_3 를 사용한 경우 출발물질인 Al_2O_3 와 SiC 이외에 YAG [$1/2(3Y_2O_3 \cdot 5Al_2O_3)$]가 생성된 것이 관찰되었다. Al_2O_3 - Y_2O_3 계 상태도¹³⁾를 살펴볼때 Al_2O_3 에 소량의 Y_2O_3 를 첨가한 조성의 경우 $1760^\circ C$ 에서 액상이 생성되는 것으로 나타나고 있으며 Hausner¹⁴⁾등은 이계를 $1850^\circ C$ 에서 소결하였을 경우 YAG상이 생성된다고 보고하였다. 또한 Bonnell¹⁵⁾등은 Si_3N_4 와 Y_2O_3 를 첨가하

여 $1700-1740^\circ C$, 30 MPa, 질소분위기 중에서 2시간 동안 가압소결한 후 $1250-1350^\circ C$ 에서 0.2-50시간 열처리 하였을때 모든 조건에서 YAG상이 결정화되는 것으로 나타났다 보고하였다. 이와같은 사실을 바탕으로 할 때 기지인 Al_2O_3 가 소결조제로 첨가된 Y_2O_3 와 소결온도에서 액상을 형성한 후 냉각 과정에서 결정화하여 YAG상이 생성된 것으로 생각된다. 소결조제로 TiO_2 를 사용한 Al_2O_3 단미의 경우 X선 회절분석결과 Al_2O_3 만이 나타나고 있지만 Al_2O_3 -SiC 복합체의 경우는 TiC와 TiN상이 존재하는 것으로 나타나고 있는데 이는 소결조제로 첨가한 TiO_2 가 2차상인 SiC와 분위기의 영향에 의해 환원되어 생성된 것으로 생각된다.

3. 2 상대밀도의 변화

Al_2O_3 -SiC whisker 복합체의 상대밀도 변화를 Fig.3(A)(B)에 나타내었다.

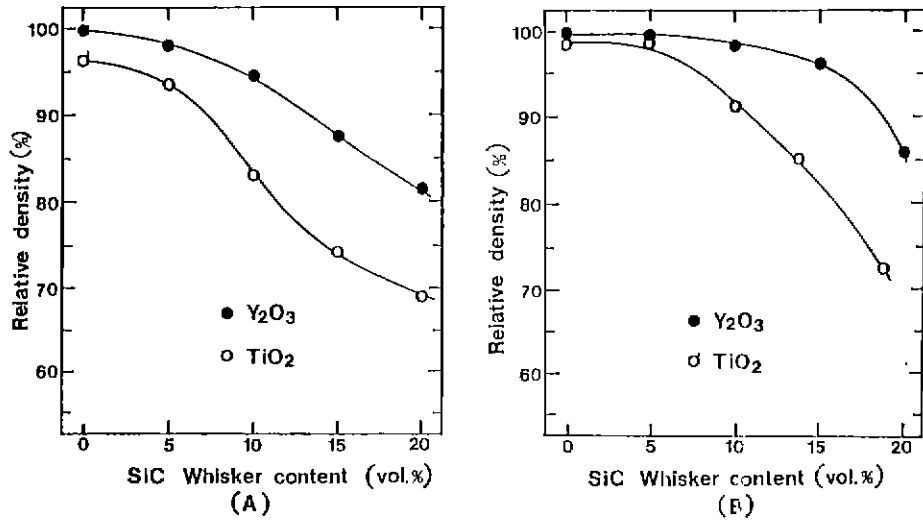


Fig.3. Effects of SiC whisker content and sintering additives on relative density of pressureless sintered Al_2O_3 -SiC composites as a function of sintering temperature.
(A) 1800°C for 90 min in N_2 atmosphere
(B) 1900°C for 90 min in N_2 atmosphere

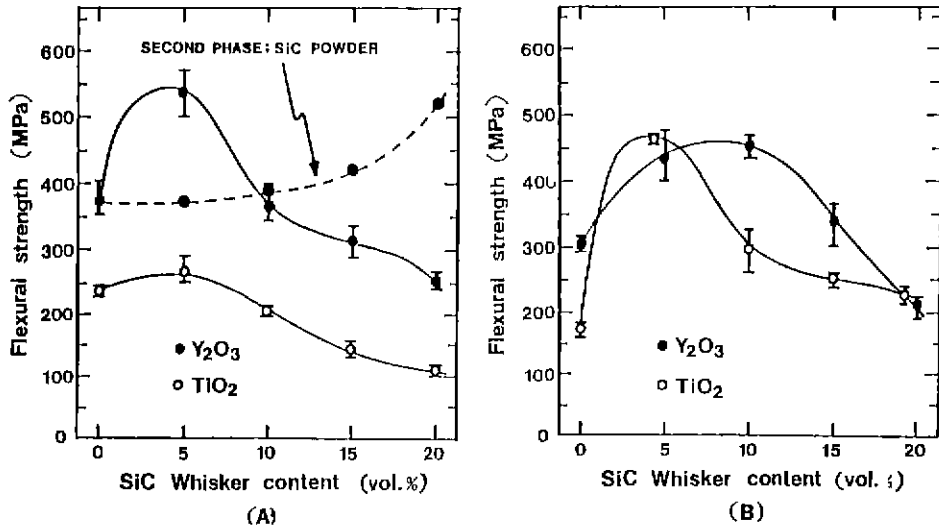


Fig.4. Effects of SiC whisker content and sintering additives on flexural strength of pressureless sintered Al_2O_3 -SiC composites as a function of sintering temperature.
(A) 1800°C for 90 min in N_2 atmosphere
(B) 1900°C for 90 min in N_2 atmosphere

소결조제의 종류와 소결온도에 관계없이 Al_2O_3 기지에 첨가된 SiC whisker의 양이 증가함에 따라 상대밀도는 감소하는 것으로 나타나고 있다. 그렇지만 소결온도가 1800°C인 경우보다는 1900°C인 경우 상대밀도가 더 크게

나타나고 있으며 Y_2O_3 를 소결조제로 사용한 경우가 TiO_2 를 사용한 경우 보다 더 치밀화가 잘 이루어진 것으로 나타나고 있다. 즉 Y_2O_3 를 소결조제로 첨가하여 1800°C에서 상압소결한 경우 10vol%의 SiC whisker함량에서 94.5%

의 상대밀도를 나타낸 반면 1900°C에서 상압소결한 경우에는 15 vol%의 SiC whisker 함량에서도 95%이상의 상대밀도를 나타내었다. 이와 같은 현상은 Y_2O_3 가 Al_2O_3 와 소결온도에서 액상을 형성하여 치밀화에 기여하는 것으로 생각되며 이 보다 더 높은 1900°C의 소결온도에서는 생성되는 액상량이 증가하게 되어 더욱 치밀화가 잘 이루어지는 것으로 생각된다. 이에 비해 소결조제로서 TiO_2 를 첨가한 경우는 상분석 결과에 나타난 바와 같이 TiC와 TiN 화합물이 형성됨에 따라 소결조제로서 효과적으로 작용하지 못한 것으로 나타나고 있다. 1800°C에서 상압소결하여 얻은 Al_2O_3 -SiC whisker 복합체와 이와 동일한 소결조건에서 Al_2O_3 기지내에 SiC 분말을 분산시켜 소결한 경우¹⁶⁾를 비교해 볼때 2 차상으로 whisker를 사용한 경우가 훨씬 치밀화되기 어렵다는 사실을 알 수 있다. 이는 SiC whisker가 SiC 분말에 비해 장단축의 비(aspect ratio)가 훨씬 커서 혼합할때 충전되기 어렵고 또 소결에 있어서는 물질이동이 억제됨으로써 치밀화가 더 어렵기 때문인 것으로 생각된다.

3. 3 기계적 물성

3. 3. 1 적임강도의 변화

Fig.4(A)(B)는 1800-1900°C에서 상압소결한 Al_2O_3 -SiC whisker 복합체에 대한 적임강도변화를 나타내었다. 먼저 1800°C에서 소결한 복합체의 경우에 대해 관찰해 보면 Y_2O_3 를 소결조제로 사용했을때 5 vol%의 SiC whisker 함량에서 536 MPa의 값을 나타내어 372 MPa 정도를 나타낸 Al_2O_3 단미에 비해 약 44%의 강도증진 효과를 보이고 있지만 이 이상 분산시키면 감소하였다. 이에 비해 소결조제로 TiO_2 를 사용한 경우는 역시 5 vol%의 SiC whisker 함량에서 266 MPa로 가장 높은 적임강도를 보이지만 Al_2O_3 단미에 비해 강도의 증가가 작고 그 이상 분산시켰을때는 적임강도가 감소하였다. 이와같이 1800°C에서 상압소결한 시편의 경우 비교적 상대밀도가 높게 나타나는 5 vol%SiC whisker 함량에서 적임강도가 가장 크게 나타나고 있는데 이는 2 차상에 의한 복합화효과 역시 상대밀도가 큰 경우에 크게 나타나기 때문이며 또한 Fig.7에서 알 수 있는 바와같이 Al_2O_3 단미에 비해 입자성장도 크게 억제되었기 때문이다. 그러나 SiC whisker의 함량이 더욱 증가하면 입자성장효과가 커짐에도 불구하고 상대밀도의 급격한 감소로 인해 적임강도가 감소하였다.

Fig.7과 Fig.8을 함께 비교해 보면 Y_2O_3 를 소결조제로 첨가하여 1900°C에서 상압소결한 시편의 경우는

1800°C에서 상압소결한 경우에 비해 Al_2O_3 단미는 현저한 입자성장이 일어나 적임강도가 더 작게 나타나고 있으며 5 vol%의 SiC whisker를 사용한 경우도 사용한 whisker의 량이 Al_2O_3 의 입자성장을 충분히 억제시킬수 있는 량이 못 되기 때문에 Al_2O_3 의 입자성장이 진행되어 1800°C에서 소결한 경우에 비해 적임강도가 작게 나타나고 있다. 그러나 SiC whisker의 함량을 10, 15 vol%로 증가시켰을 경우에는 SiC whisker에 의한 입자성장억제 효과가 커지고 또한 소결온도의 상승으로 복합체의 상대밀도가 증가하였기 때문에 1800°C에서 소결한 경우에 비해서 1900°C에서 소결한 경우에 적임강도가 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

TiO_2 를 소결조제로 첨가한 경우도 앞서 언급한 바와 같이 Al_2O_3 단미는 입자성장이 진행됨에 따라 1800°C에서 소결한 경우에 비해 적임강도가 감소하였지만 비교적 소량의 2 차상을 사용한 조성인 5 vol%의 SiC whisker 함량에서는 상대밀도의 현저한 증가로 인해 적임강도가 상당히 증가하는 것으로 나타나고 있다. 그렇지만 그 이상 사용한 조성에서는 치밀화가 충분히 이루어지지 못하였으므로 적임강도의 감소가 나타나고 있다.

앞선 연구에서¹⁶⁾ 2 차상으로 SiC 분말을 사용하고 소결조제로 Y_2O_3 를 사용하여 1800°C에서 상압소결한 경우와 2 차상으로 SiC whisker를 사용하여 동일 조건에서 상압소결한 경우를 비교할때 (Fig.4참고)후자의 경우에서 2 차상의 함량이 적어서 상대밀도가 95%이상 유지되어 치밀화의 정도가 비슷하게 나타나는 5 vol%의 SiC 함량에서는 전자와 후자에 대해서 각각 378 MPa, 537 MPa로 장축과 단축의 비가 큰 whisker를 사용했을 때 균열의 경로를 더욱 심하게 굴절시켜서¹⁷⁾ 적임강도가 더 크게 나타났다. 그렇지만 SiC의 함량이 증가하면 whisker를 사용한 경우 치밀화가 어렵기 때문에 보다 낮은 적임강도를 나타내었다.

3. 3. 2 경도의 변화

Fig.5(A)(B)에는 경도변화를 나타내었다. 경도변화 곡선은 앞서 고찰한 적임강도변화 곡선과 동일한 경향을 나타내고 있다.

Y_2O_3 를 소결조제로 첨가하여 1800°C에서 상압소결한 경우 Al_2O_3 단미는 12.6 GPa를 나타내었지만 5 vol%의 SiC whisker 함량에서 14.4 GPa의 값을 나타내었으며 TiO_2 를 소결조제로 첨가한 경우에는 Al_2O_3 단미가 5.8 GPa를 나타내는데 비하여 5 vol% SiC whisker 함량에서

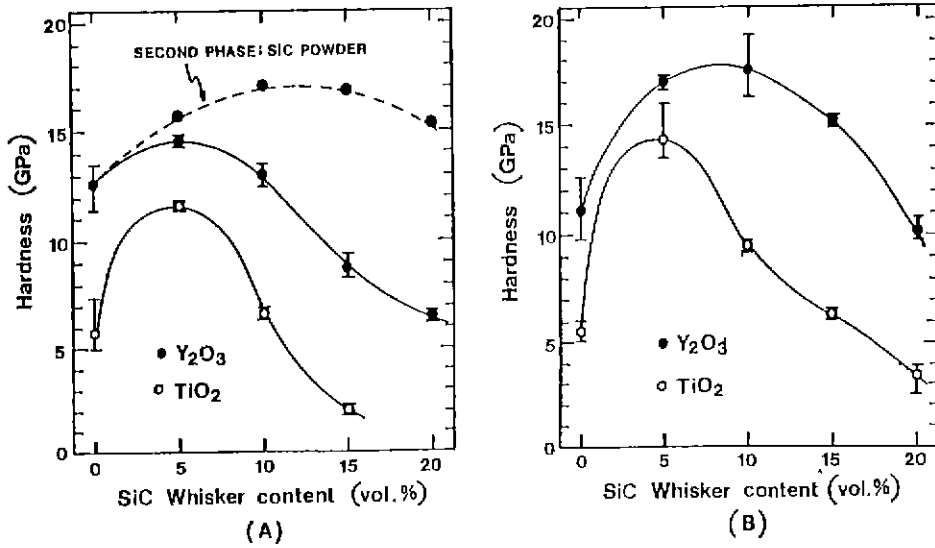


Fig.5. Effects of SiC whisker content and sintering additives on hardness of pressureless sintered Al_2O_3 -SiC composites as a function of sintering temperature.
(Broken line : SiC powder dispersion)
(A) 1800°C for 90 min in N_2 atmosphere (B) 1900°C for 90 min in N_2 atmosphere

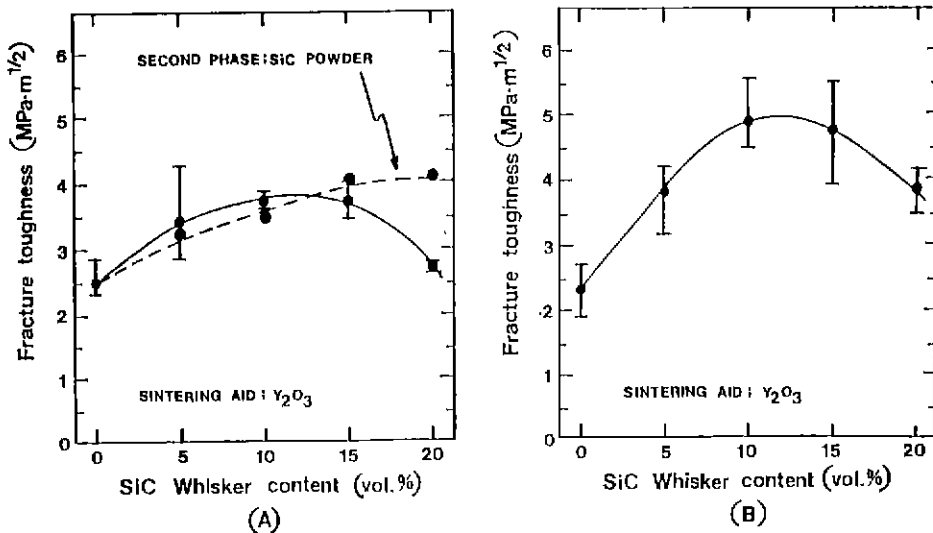


Fig.6. Effects of SiC whisker content on fracture toughness of pressureless sintered Al_2O_3 -SiC composites as a function of sintering temperature.
(Broken line : SiC powder dispersion)
(A) 1800°C for 90 min in N_2 atmosphere (B) 1900°C for 90 min in N_2 atmosphere

11.6 GPa의 경도를 보이고 있다.

1900°C에서 소결한 경우에는 소결온도의 상승에 의한 상대밀도의 증가로 고경도물질인 SiC의 복합화효과가 커져서 1800°C에서 소결한 경우에 비해 경도가 증가하였다.

또한 선행된 연구에서¹⁰⁾ SiC 분말을 2차상으로 사용하여 1800°C에서 상압소결한 경우에 비하여는 치밀화가 더욱 어려워져서 경도가 전체적으로 낮게 나타나고 있다. 즉 Y_2O_3 를 소결조제로 사용하고 2차상으로 SiC분말을 사용한

경우 10 vol%의 SiC 분말함량에서 17.1 GPa의 값을 나타내었다. 그러나 SiC whisker를 2차상으로 사용한 경우에는 12.9 GPa로 나타났으며 이러한 경도값의 차이는 SiC의 함량이 증가함에 따라 커지는 것으로 나타났다. 이와 같은 경향은 소결조제로 TiO₂를 사용한 경우에도 마찬가지였다.

3. 3. 3 파괴인성의 변화

Fig. 6(A)(B)는 파괴인성 측정결과를 나타낸 것으로 1800℃에서 상압소결한 Al₂O₃단미는 2.48 MPa·m^{1/2}의 값을 나타내지만 SiC whisker 함량이 증가함에 따라 증가하여 15 vol%의 SiC whisker 함량에서 3.71 MPa·m^{1/2}을 나타내었다. 그렇지만 이 조성에서는 Fig. 3(A)에서 살펴본 바와 같이 상대밀도가 87.5%정도밖에 안되기 때문에 균열의 전파가 SiC whisker 뿐만 아니라 시편에 존재하는 기공에 의해 방해받을 것으로 생각된다.

1900℃에서 소결한 시편은 상대밀도 증가에 따른 복합화효과의 증가로 인해 균열의 전파가 억제되어 파괴인성이 1800℃에서 소결한 경우에 비해 증가하였다. 1800℃에서 소결한 경우 10 vol%의 SiC whisker 함량에서 3.7 MPa·m^{1/2}이었으며 1900℃에서 소결한 경우는 4.9 MPa·m^{1/2}정도로 나타났으며 이와 같은 경향은 SiC whisker를 2차상으로 사용한 전조성에 나타났다.

선행된 연구에서¹⁰⁾ SiC 분말을 2차상으로 분산시켜 1800℃에서 상압소결한 경우와 2차상으로 SiC whisker를 분산시켜 동일 조건에서 소결한 두 경우를 비교할때 2차상인 SiC whisker를 분산시켜도 상대밀도가 95%정도 유지될 수 있었던 10 vol% SiC whisker 함량까지는 SiC whisker가 입자형태의 2차상 보다 균열전파를 더 효과적으로 억제시킬 수 있기 때문에 파괴인성이 더 크게 나타나고 있다.¹⁰⁾ 즉 10 vol%의 SiC 함량에서 SiC whisker를 2차상으로 사용한 경우는 3.7 MPa·m^{1/2}의 값을 나타내었고 SiC 분말을 2차상으로 사용한 경우는 3.5 MPa·m^{1/2}의 값을 나타내었다. (Fig. 6참고) 그러나 15 vol%이상 SiC whisker를 분산시킨 경우에는 상대밀도의 감소가 SiC 분말을 분산시킨 경우 보다 더욱 현저하므로 파괴인성도 더욱 낮게 나타났다.

3. 4 미세구조관찰

Fig. 7에는 Y₂O₃를 소결조제로 첨가하여 1800℃에서 상압소결한 시편의 파단면을 관찰한 것으로 SiC whisker의 사용량이 증가함에 따라 Al₂O₃단미에 비해 입자성정이 억제되고 있음을 볼 수 있으며 5 vol%의 SiC whisker를 사

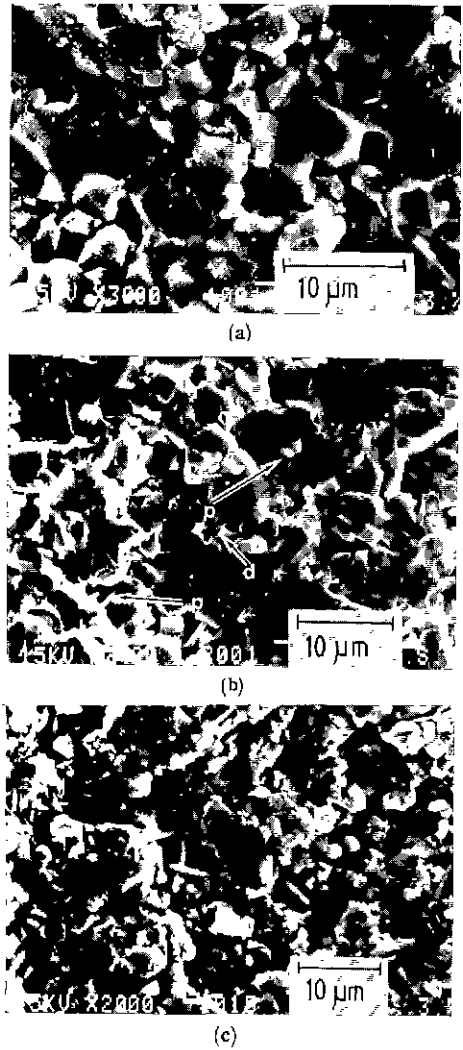


Fig. 7. SEM photographs representing fracture surfaces of Al₂O₃-SiC composites pressureless sintered at 1800℃ for 90 min in N₂ atmosphere. (Arrows p represents the whisker pullout and d represents the crack deflection)
 (a) Al₂O₃+Y₂O₃
 (b) Al₂O₃+5 vol% SiC whisker+Y₂O₃
 (c) Al₂O₃+20 vol% SiC whisker+Y₂O₃

용한 경우 whisker의 인출현상(whisker pullout)이 관찰되고 있다. 그렇지만 20 vol%의 SiC whisker를 사용한 시편은 큰 기공과 더불어 whisker가 분리되어 있는 것으로 보아 whisker에 의해 치밀화가 상당히 방해받았다는 사실을 알 수 있다.

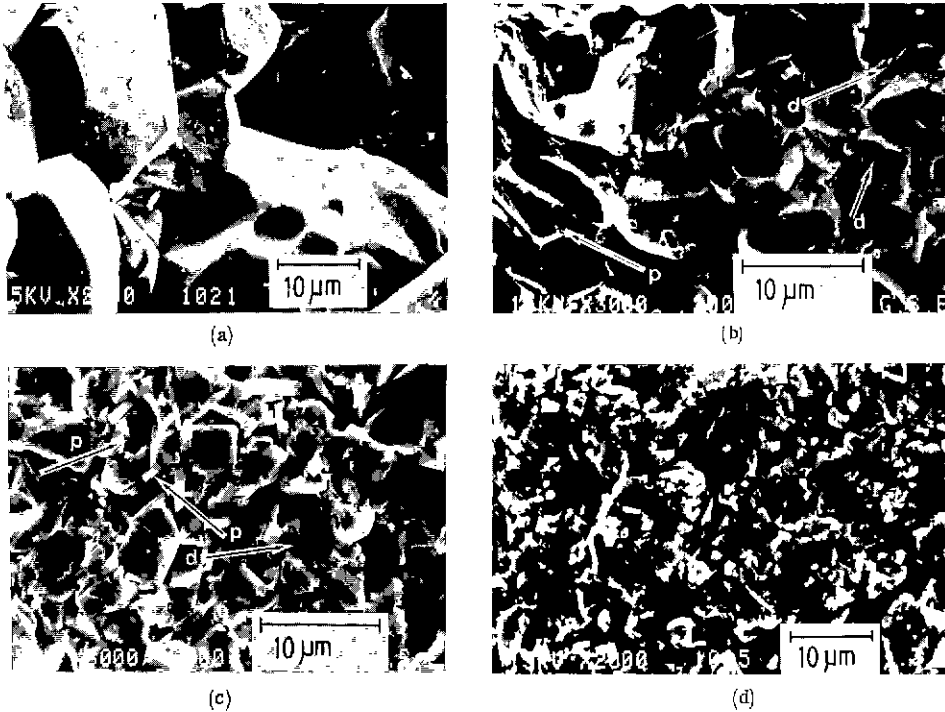


Fig. 8. SEM photographs representing fracture surfaces of Al₂O₃-SiC composites pressureless sintered at 1900°C for 90 min in N₂ atmosphere (Arrows : p represents the whisker pullout and d represents the crack deflection).

(a) Al₂O₃ + Y₂O₃

(b) Al₂O₃ + 5 vol. % SiC whisker + Y₂O₃

(c) Al₂O₃ + 10 vol. % SiC whisker + Y₂O₃

(d) Al₂O₃ + 20 vol % SiC whisker + Y₂O₃

소결조제로 Y₂O₃를 첨가하여 1900°C에서 상압소결한 시편의 파단면을 Fig. 8에 나타내었다. 1800°C에서 소결한 경우에 비해 Al₂O₃단미와 5 vol%의 SiC whisker를 분산시킨 시편에서는 입자성장이 일어난 것으로 나타났지만 20 vol%의 SiC whisker를 분산시킨 시편의 경우에는 거의 비슷한 입자크기를 갖는 것으로 나타났다. 또한 whisker의 인출현상과 whisker에 의한 균열의 편향(deflection)이 나타난 것으로 보아 기계적 물성의 증진이 이러한 기구를 통해서 이루어진 것임을 알 수 있다.

4. 결 론

SiC whisker를 2차상으로 Al₂O₃기지에 분산시켜 1800-1900°C에서 상압소결한 후 이 소결체에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 2차상으로 사용한 SiC whisker의 함량이 증가함에

따라 상대밀도는 감소하였다. whisker는 aspect ratio가 커서 치밀화가 어려우므로 2차상으로 SiC분말을 분산시켜 동일조건에서 소결한 경우에 비해 상대밀도가 더욱 낮게 나타났다.

2) Y₂O₃를 소결조제로 첨가하여 1800°C에서 상압소결한 경우 적임강도와 경도의 최고값은 5 vol% SiC whisker 함량에서 각각 537 MPa, 12.1 GPa로 나타났으며 파괴인성의 최고값은 15 vol%의 SiC whisker 함량에서 3.7 MPa·m^{1/2}이었다. 또한 1900°C에서 Y₂O₃를 소결조제로 첨가하여 소결한 시편의 경우 적임강도와 경도 및 파괴인성의 최고값은 10 vol%의 SiC whisker 함량에서 각각 453 MPa, 17.5 GPa, 4.9 MPa·m^{1/2}인 것으로 나타났다.

3) SiC whisker는 Al₂O₃의 불규칙하고 과대한 입자성장을 억제하였으며 기계적 물성의 증진은 주로 균열의 편향(deflection)과 whisker의 인출(whisker pullout)에 의한 것으로 나타났다.

REFERENCES

1. 이홍림 역, "엔지니어링 세라믹스", 반도출판사 (1986).
2. T. G. Gupta, "Strength Degradation and Crack Propagation in Thermally Shocked Alumina", *J. Am. Ceram. Soc.*, **55**(5) 249-253 (1972).
3. S. Umabayashi, H. Nakamura, E. Tani, K. Kishi and K. Kobayashi, "Some Mechanical Properties of Hot Pressed β -Sialon with SiC", *Yogyo-Kyokai-Shi*, **93** (3) 162-163 (1985).
4. T. Uchiyama et. al., "Strengthening of Alumina", *Yogyo-Kyokai-shi*, **94** (8) 756-760 (1986).
5. C. Greskovich and J. A. Palm, "Observation of the Fracture Toughness of β -Si₃N₄- β -SiC Composites", *J. Am. Ceram. Soc.*, **63** (9-10) 597-599 (1980).
6. T. N. Tieggs et. al., "Whisker-Reinforced Ceramic Composites", Ed. by W. Bunk et. al., pp.193-200 in *Ceramic Materials and Components for Engines*, Verlag Deutsche Keramische Gesellschaft, Germany, (1986).
7. G. C. Wei et. al., "Development of SiC-Whisker Reinforced Ceramics", *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **64** (2) 298-304 (1985).
8. T. N. Tieggs et. al., "Thermal Shock Behavior of an Alumina-SiC Whisker Composite", *J. Am. Ceram. Soc.*, **70** (5) C109-C111 (1987).
9. P. F. Becher et.al., "Toughening Behavior in SiC-Whisker-Reinforced Alumina", *J. Am. Ceram. Soc.*, **67** (12) C267-C269 (1984).
10. T. N. Tieggs et.al., "Sintered Alumina-SiC Whisker Composites", *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **66** (2) 339-342 (1987).
11. D. W. Richerson, "Modern Ceramic Engineering", Marcel Dekker, Inc., pp. 87, (1982).
12. A. G. Evans et. al., "Fracture Toughness Determination by Indentation", *J. Am. Ceram. Soc.*, **59** (7) 371-372 (1976).
13. N. A. Toropov et. al., Fig.2344, in *Phase Diagrams for Ceramists*, Vol.2, Am. Ceram. Soc, Inc. (1969).
14. H. Hausner et. al., "Quantative Analysis of Microstructures in the System Alumina-Yttria", pp. 307-312 in *Science of Ceramic*, Vol. 12, Edited by P. Vincenzini, Grafiche Galcati, Imola, Italy, (1984)
15. D. A. Bonnel et. al., "Controlled Crystallization of the Amorphous in Silicon Nitride Ceramics", *J. Am. Ceram. Soc.*, **70** (7) 460-465 (1987).
16. 이홍림, 김경수, 이형복, "상압소결 Al₂O₃-SiC 계 소결체의 기계적 성질(1): SiC 분말의 분산효과", *요업학회지*, **25** (3) 231-236 (1988).
17. R. W. Rice, "Ceramic Matrix Composite Toughening Mechanisms: An Update", *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, **6** (7-8) 589-607 (1985).
18. M. G. Jenkins et. al, "Crack Initiation and Arrest in a SiC Whisker/Alumina Matrix Composite", *J. Am. Ceram. Soc.*, **70** (6) 393-395 (1987).